数量和顺序线索对 SNARC 效应的影响及其作用机制[一]

王强强[1] 吴彦文[2] 石文典[3] 游旭群[4]

([1]湖州师范学院教师教育学院, 湖州 313000) ([2]天水师范学院教师教育学院, 天水 741001) ([3]上海师范大学心理学院, 上海 200030) ([4]陕西师范大学心理学院, 西安 710000)

摘要 空间-数字反应编码联合(SNARC)效应普遍存在于各种形式的数字和数量刺激加工之中, 但是刺激中包含的数量和顺序线索影响 SNARC 效应的机制尚不清楚。本研究通过设计字母数量启动任务, 系统考察了数量和顺序线索对 SNARC 效应的影响及其作用机制。研究通过连续呈现不同数量的字母启动字母的数量信息后, 分别要求被试执行字母顺序分类任务(实验 1), 字母数量奇偶分类任务(实验 2)和字母颜色分类任务(实验 3)。结果发现: (1)在字母顺序分类任务中同时出现数量 SNARC 效应和顺序 SNARC 效应, 但二者交互作用不显著。(2)在字母数量奇偶分类任务中, 数量 SNARC 效应和顺序 SNARC 交互效应显著, 具体表现为在字母顺序-空间一致条件下才出现数量 SNARC 效应, 在数量-空间一致条件下才出现顺序 SNARC 效应。(3)在字母颜色分类任务中, 只出现顺序 SNARC 效应, 未出现数量 SNARC 效应, 且两者交互作用不显著。结果表明: (1)SNARC 效应既可以由刺激的数量线索引起, 也可以由刺激的顺序线索引起。(2)数量和顺序线索对 SNARC 效应的影响机制不同, 且具有任务情景依赖性。结果支持并修正了数量顺序双重作用理论。

关键词 SNARC 效应, 启动范式, 数量-空间一致性, 顺序-空间一致性, 认知任务

分类号 B842

1 问题提出

当要求被试以按键的方式对随机呈现的阿拉伯数字进行奇偶分类时, 被试对小数字按左键反应更快, 对大数字按右键反应更快。这一现象被称为空间-数字反应编码联合(Spatial-Numerical Association of Response Codes)效应, 即 SNARC 效应(Dehaene et al., 1993; Richter & Wühr, 2023)。大量研究发现, SNARC 效应还广泛存在于中文、法语等不同形式的符号数字(高在峰 等, 2009; 韩萌 等, 2017; 刘超 等, 2004; 潘运 等, 2009; Kong et al., 2012; Prpic et al., 2023; Schliephake et al., 2023; Wang et al., 2020), 不同数量的圆点、矩形等组成的

一 收稿日期: 2023-08-02
浙江省哲学社会科学规划“省市合作”课题(24SSHZ106YB)资助。
通讯作者: 石文典, E-mail: swd_nx@163.com 游旭群, E-mail: youxuqun@snnu.edu.cn

非符号数字(司继伟 等, 2013; Cleland et al., 2020; Nuerk et al., 2005; Wang et al., 2022; Wang et al., 2023)和亮度、面积等非符号数量刺激(胡林成, 熊哲宏, 2013; Fumarolan et al., 2014; Wang et al., 2022)的加工之中。

就 SNARC 效应产生的原因, ATOM (a theory of magnitude)模型认为各种类型的符号数字、非符号数字以及不同形式的数量刺激均有共同的加工机制, 且均在一般数量系统(generalized magnitude system)中得以加工。SNARC 效应则是各种类型的数字和数量刺激的数量信息在一般数量系统处理的结果(Bueti & Walsh, 2009; Walsh, 2003)。ATOM 模型肯定了刺激数量信息在 SNARC 效应中的作用, 却否定了刺激顺序信息在 SNARC 效应中的可能作用。然而, 有学者用只包含顺序信息的顺序刺激(如字母)取代数字和数量刺激, 在没有数量信息的顺序刺激加工中也捕获到了 SNARC 效应, 即序列前面的顺序符号用左手反应更快, 序列后面的顺序符号用右手反应更快(Gevers et al., 2003; Gevers et al., 2004; Previtali et al., 2010; Shen et al., 2023; Wang et al., 2019; Zhang et al., 2016)。由于数字既包含数量信息(基数, 如 2 表示两个事物), 也包含顺序信息(秩序, 如 2 表示其在 1 的后面)。因此, 有学者提出顺序(ordinality)理论来解释 SNARC 效应, 该理论认为刺激顺序信息的加工导致了 SNARC 效应(Abrahamse et al., 2014; Abrahamse et al., 2016; Casasanto & Pitt, 2019; van Dijck & Fias, 2011)。顺序理论肯定了刺激顺序信息在 SNARC 效应中的作用, 却否定了刺激数量信息在 SNARC 效应中的作用。

尽管顺序理论可以解释包括数字在内的各种含有顺序信息的刺激加工中的 SNARC 效应, 但是也有一些研究对顺序理论提出了挑战(Dodd et al., 2008; Prpic et al., 2016)。比如, Prpic 等人(2016)在实验中随机向音乐专业的大学生呈现一个音符, 要求被试按照音符值大小(实验 1)、音符顺序(实验 2)和音符上线段的走向(实验 3 人为在音符上画一条左右走向或上下走向的线段)对音符进行分类。结果发现在音符值大小分类中, 音符的顺序信息导致了 SNARC 效应。在音符顺序和线段走向分类中, 音符的数量信息导致了 SNARC 效应(Prpic et al., 2016)。基于这些发现, Prpic 等人进一步提出了数量顺序双重作用理论, 认为 SNARC 效应既可以由刺激的数量信息引发, 也可以由刺激的顺序信息引发(Prpic et al., 2016; Prpic et al., 2021)。为了更深入地阐明数量和顺序信息在 SNARC 效应中的作用机制, Prpic 等人(2016)把刺激数量大小相关的任务(如音符值大小分类)定义为直接任务(注意资源直接指向加工刺激的数量信息), 把刺激数量大小无关的任务(如音符值顺序分类和线段走向分类)定义为间接任务(注意资源指向加工刺激数量信息无关的信息), 并认为直接任务中刺激顺序信息诱发 SNARC 效应, 间接任务中刺激数量信息诱发 SNARC 效应。

在阿拉伯数字中，数量“小”对应顺序“前”，数量“大”对应顺序“后”，数量和顺序信息之间具有共变性，即数量(顺序)信息的变化会导致顺序(数量)信息的同步变化。比如随着数量由小变大，顺序会“由前向后”同步变化。由于已有研究不能恰当地解决数字数量和顺序信息之间的共变性问题，致使它们难以有效地分离数量和顺序信息在 SNARC 效应中的作用，最终导致 ATOM 模型、顺序理论和数量顺序双重作用理论在“SNARC 效应由数字数量信息的加工引起还是数字顺序信息的加工引起，抑或是数字数量和顺序共同作用的结果？”这一问题上存在争议。分离数量和顺序信息在 SNARC 效应中作用的一个直接方法就是排除法，即排除顺序信息后如果 SNARC 效应减弱或消失就可以说明顺序在 SNARC 效应中存在作用。正常情况下，数字数量和顺序在 SNARC 效应中的作用难以分离，但是在生活中存在很多只有顺序没有数量信息的顺序符号(如字母)。如果能够证明 SNARC 效应不会出现在顺序符号加工中就可以排除顺序在 SNARC 效应中的作用，进而确定数量在 SNARC 效应中的作用，最终分离数量和顺序在 SNARC 效应中的作用。基于这一推测，有学者用顺序符号取代数字，考察了顺序符号加工中的 SNARC 现象。结果却发现 SNARC 效应同样可以出现在顺序符号的加工之中(Gevers et al., 2003; Previtali et al., 2010; Shen et al., 2023; Wang et al., 2019; Zhang et al., 2016)。结果不仅不能分离数量和顺序信息在 SNARC 效应中的作用，反而进一步证实了顺序信息具有引发SNARC效应的作用(当然也不能据此否定数量信息在SNARC效应中的作用)。

音符刺激中数量和顺序的变化趋势正好相反，即音符值(如全音符和二分音符)越大，音符顺序越靠前，音符值(如八音符和十六音符)越小，音符顺序越靠后。在用排除法不能分离数量和顺序在 SNARC 效应的作用后，有研究试图采用音符这种特殊刺激分离数量和顺序在 SNARC 效应中的作用。虽然音符的数量和顺序信息的变化趋势完全相反，但是音符的数量和顺序信息之间依然存在共变性，即随着音符值逐渐增加，音符顺序会同步地逐渐靠前。而且音符加工过程中，音符值的数量和顺序信息之间还有可能相互干扰，从而导致数量(顺序)信息在 SNARC 效应中的作用被顺序(数量)信息的加工所抵消或掩盖。比如音符值大小分类任务中，顺序和数量加工中可能都存在 SNARC 效应，但是顺序 SNARC 效应量远远大于数量 SNARC 效应量。两者相互作用导致数量 SNARC 效应完全被抵消或掩盖，但是顺序 SNARC 效应的效应量只是减弱而非消失。这样一来，对数据进行分析时只能检测到基于顺序的 SNARC 效应，不能检测到基于音符数量的 SNARC 效应。结果很容易使人误以为只有顺序信息发挥了作用，而数量信息没有起到任何作用。因此，即使使用音符这种特殊的刺激也不能有效分离数量和顺序信息在 SNARC 中的作用。

van Dijck 和 Fias(2011)试图采用启动范式分离数字数量和顺序线索在 SNARC 效应中的作用。研究中作者给被试连续呈现 5 个数字，要求被试正确记忆数字呈现的顺序。待被试记住数字呈现的顺序后随机向被试呈现一些数字(一半数字在启动序列中出现过，一半未出现过)，要求被试以按键的方式判断启动序列中出现过的数字的奇偶，对启动序列中未出现的数字不予反应(Go-No/go 范式)。结果发现基于数字启动顺序的 SNARC 效应，但未发现基于数字数量的 SNARC 效应(van Dijck & Fias, 2011)。研究结果似乎支持数字的顺序信息诱发 SNARC 效应，数字的数量线索不会诱发 SNARC 效应的观点。虽然这一研究启动了数字的序列顺序，使得数字的数量信息和启动的序列顺序信息得以暂时分离，但是该实验中，Go-No/go 范式的使用重点强调了数字启动序列的顺序信息，致使数字数量和启动序列的顺序信息在数字加工中的激活强度不对等。而且在这种情景下，数字除了包含启动序列的顺序信息以外，其本身也包含顺序信息(数字的秩序)。在这种实验范式中得到的结论依然缺乏足够的说服力。甚至当删除 Go-No/go 范式，以同样的方式启动数字的序列顺序后，要求被试对呈现的所有数字进行按键分类时，基于顺序的 SNARC 效应和基于数量的 SNARC 效应可以同时存在(Ginsburg & Gevers, 2015; Huber et al., 2016)。这一结果应证了我们的分析，进一步说明 van Dijck 和 Fias(2011)的启动实验也不能分离数量和顺序信息在 SNARC 中的作用。

分离数量和顺序的一个办法是采用同时包含数量和顺序信息的刺激，且刺激所包含的数量和顺序信息之间不具共变性。为了创造这种刺激，本研究选取只含有顺序信息的英文字母 A、B、D、E，同时借鉴前人的启动范式(van Dijck & Fias, 2011; Wang et al., 2018; Shi et al., 2020)，通过连续呈现数个字母的方法启动字母的数量信息。这样一来，字母就既包含了顺序信息，又包含了数量信息。更重要的是这种情况下字母数量(或顺序)的变动不会引起字母顺序(或数量)的同步变化，即字母的数量和顺序信息之间没有共变性。接下来本研究在不同的任务情景中系统地研究数量和顺序信息加工对 SNARC 效应的影响及其机制，解决 ATOM 模型、顺序理论和数量顺序双重作用理论之间的争议。具体而言，实验 1 要求被试执行字母顺序分类任务，把被试认知资源优先指向对字母顺序线索的加工。实验 2 要求被试执行字母数量的奇偶分类任务，把被试认知资源优先指向对字母数量线索的加工。实验 3 要求被试执行字母颜色分类任务，把被试认知资源指向与字母数量和顺序均无关的线索的加工。如果像 ATOM 模型所述, SNARC 效应由刺激的数量线索，而非顺序线索所致，那么三个实验均只会出现数量 SNARC 效应；如果像顺序理论所述, SNARC 效应由刺激的顺序线索，而非数量线索所致，那么三个实验均只会出现顺序 SNARC 效应；如果像数量顺序双重作用理论所述，SNARC 效应既可以由刺激的数量信息引发，也可以由刺激的顺序信息引发，那么三个实验

中有可能既会出现数量 SNARC 效应，也会出现顺序 SNARC 效应。当然考虑到每个实验对认知资源优先分配的对象不同，而且在不同情景中数量和顺序线索的作用机制也有可能不同，当 SNARC 效应起因于数量线索和顺序线索双重作用时，数量 SNARC 效应和顺序 SNARC 效应在不同的实验情景中还有可能会表现出任务情景依赖性。但是无论如何，如果像数量顺序双重作用理论所述, SNARC 效应由刺激数量和顺序信息双重作用所致的话，那么前两个假设结果均不会出现。

2 实验 1

2.1 实验目的

采用启动范式启动字母数量信息，要求被试判断呈现字母在字母表中的顺序。通过字母顺序分类任务把被试的认知任务优先指向对字母顺序线索的加工后考察字母数量和顺序线索对 SNARC 效应的影响及其作用机制。

2.2 研究方法

2.2.1 被试

分别设置参数 effect size *f* 为 0.25, I 类错误的概率α err prob 为 0.05，统计功效为 0.8，采用 G*Power 3.1 对样本量进行估算，结果显示若要达到上述要求, 2×2 被试内设计最少需要 24 人。实验招募 48 名(39 女, 9 男)在校大学生和研究生参加，年龄为 21.06±1.77(*M*±*SD*)岁，范围 18～26 岁。所有被试视力或矫正视力均正常。实验完成后获取一定报酬以示答谢。

2.2.2 材料和仪器

选取字母表中最前面 A-B-D-E 四个字母作为实验刺激。实验刺激用 19 寸显示器呈现，字体为 Courier New，颜色为黑色，字号为 48, 50 cm 处的视角约为 2.64°，背景颜色为白色。实验程序在戴尔计算机上运行，被试距离显示器约 50 cm。显示器分辨率为 1024×768 像素，刷新频率 60 Hz。

2.2.3 实验设计

采用 2(数量-空间一致性：一致 vs. 不一致) × 2(顺序-空间一致性：一致 vs. 不一致)被试内设计。根据前人研究(王强强 等, 2022; Wang et al., 2021)，数量-空间一致性的操作性定义为：字母数量少于 3 个时用左手反应，字母数量多于 3 个时用右手反应代表一致；字母数量少于 3 个时用右手反应，字母数量多于 3 个时用左手反应代表不一致；顺序-空间一致性定义为：字母在 C 之前用左手反应，字母在 C 之后用右手反应代表一致；字母在 C 之前用右手反应，字母在 C 之后用左手反应代表不一致。因变量为反应时和错误率。

2.2.4 实验程序

实验程序采用 E-prime1.1 编写。实验开始后首先在显示器中央呈现“#”500 ms, 随后连续呈现 1-5 个(3 除外)相同的字母 A、B、D 或 E 用以启动字母的数量(比如连续呈现 4 个 A)。每个启动字母呈现 500 ms, 每两个启动字母之间的时间间隔 ISI(interstimulus interval)为 500 ms, 接着再次呈现“#”500 ms。此阶段要求被试记住连续呈现的字母及其数量(启动阶段, 本文后续部分直接用启动阶段表述本阶段)。500 ms 后在显示器中央呈现注视点“+”500 ms, 注视点消失后再次在显示器中央呈现刚才的启动字母, 并要求被试看到启动字母后忽略字母的启动数量, 以按键的方式快速地判断呈现的启动字母在字母表中位于字母 C 之前还是字母 C 之后。被试按键反应或持续 3000ms 后字母会消失, 随后出现 1500 ms 的空屏后进入下一试次, 详见下图 1。

整个实验包括两个组块(block)。在其中一个组块中, 要求被试通过左手按左键对字母表中位于字母 C 之前的启动字母进行反应, 通过右手按右键对字母表中位于字母 C 之后的启动字母进行反应。在另一个组块中, 要求被试通过左手按左键对字母表中位于字母 C 之后的启动字母进行反应, 通过右手按右键对字母表中位于字母 C 之前的启动字母进行反应。两个组块的先后顺序在被试间进行平衡。在字母数量启动阶段, 每个字母呈现 1、2、4 或 5 次的概率相等, 且在每个组块中重复呈现 4 次。两个组块共 4(字母个数)×4(每个字母连续呈现的数量有 1、2、4 和 5 次这四种可能)×4(每种可能重复出现的次数)×2(组块数)=128 个正式试次。每个组块开始前, 被试练习 12 试次以熟悉实验程序。

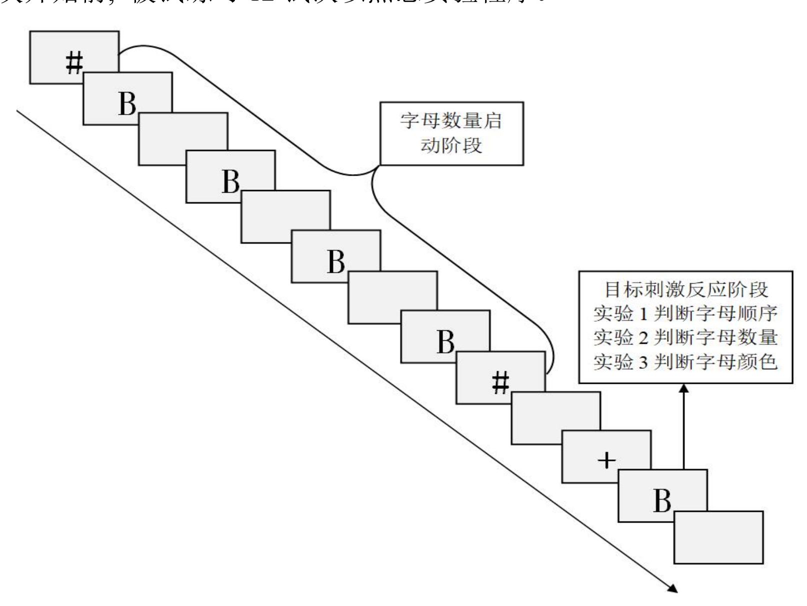


图 1 实验流程图。该图以连续呈现 4 个字母 B 为例描绘了单个试次的流程图。除了目标刺激(注视点“+”下一屏的字母 B)呈现 3000 ms, 最后一屏呈现 1500 ms 以外, 其余所有屏幕均呈现 500 ms。

考虑到本研究旨在探究数量与顺序加工对 SNARC 效应的影响及其作用机制, 必须保证

字母数量和顺序线索均得到有效加工。然而, 字母顺序分类任务尽管可以确保被试对字母顺序信息进行充分加工, 但不能确保被试在连续呈现字母阶段严格按照实验要求记忆字母的启动数量, 从而对字母启动数量线索得到有效加工。甚至被试在不记忆字母启动数量的情况下也能准确地完成实验任务。为了排除被试不充分加工字母启动数量对实验结果造成污染的可能, 确保被试对字母启动数量进行有效记忆, 在实验过程中随机加入了 16 个空白试次。在空白试次中, 注视点"+"消失后向被试呈现"奇偶"一词, 并要求被试看到"奇偶"一词后在保证正确的前提下以按键的方式判断呈现字母在启动阶段连续呈现了奇数次还是偶数次。当被试对空白刺激错误反应的次数超过总空白刺激数目的 25%时, 整个被试的数据判为无效并剔除。

2.3 结果分析与讨论

考察字母数量和顺序线索在 SNARC 效应中作用及其机制的基本前提是被试对字母的顺序和数量线索进行了充分的知觉加工。为确保被试在启动阶段按要求记忆了字母的数量, 首先对空白刺激的错误率进行了分析。如果被试没有正确地记忆字母启动数量, 那么当要求被试对字母呈现数量按压左键或右键分类时, 16 个空白刺激中被试错误分类的数量是 8 个左右(50%的错误概率)。如果被试正确记忆了字母的启动数量, 那么当要求被试对字母呈现数量按压左键或右键分类时, 16 个空白刺激中被试错误分类的数量应该远远少于 8 个(在统计学上低于 50%的错误概率)。把被试空白刺激的实际错误数和概率水平的错误数进行配对样本 t 检验, 结果显示被试在空白刺激上的实际错误数远远低于概率水平的错误数, $t(46) = -4.94$, $p < 0.001$, Cohen's $d = -6.72$, 说明被试在启动阶段按要求充分地加工了字母的数量, 实验操作有效。

剔除每个处理水平上 3 个标准差以外的反应时数据和错误反应的反应时数据(4.39%), 对剩余反应时数据进行重复测量方差分析。结果显示字母数量-空间一致性主效应显著, $F(1, 47) = 4.98$, $p = 0.03$, $\eta^2 = 0.096$, 数量-空间一致试次的反应(663±24.00 ms)显著快于数量-空间不一致试次的反应(677±25.48 ms), 说明出现了数量 SNARC 效应。顺序-空间一致性主效应显著, $F(1, 47) = 4.20$, $p = 0.046$, $\eta^2 = 0.082$, 顺序-空间一致试次的反应(642±22.73 ms)显著快于顺序-空间不一致试次的反应(699±32.82 ms), 说明出现了顺序 SNARC 效应。数量-空间一致性和顺序-空间一致性交互作用不显著, $F(1, 47) = 1.87$, $p = 0.178$, $\eta^2 = 0.038$, 说明数量 SNARC 效应和顺序 SNARC 效应彼此独立, 互不干扰, 结果见下图 2。

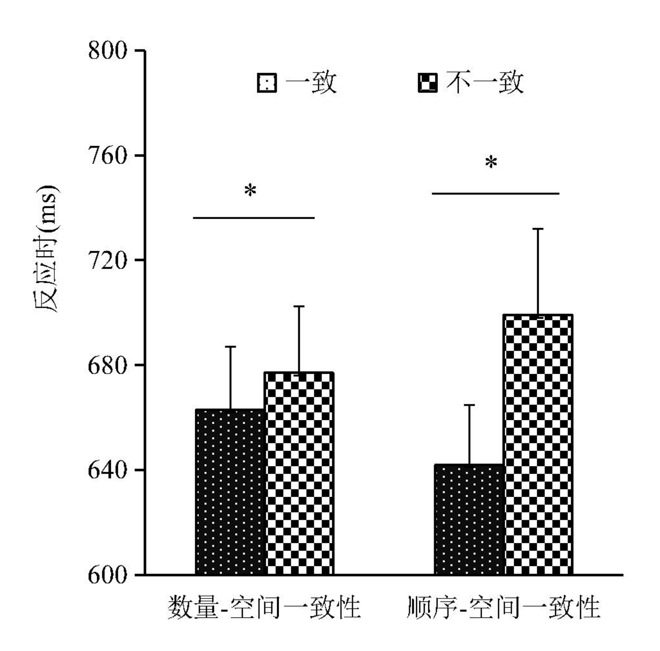


图 2 字母顺序分类中数量和顺序 SNARC 效应。误差线代表标准误, *表示 $p< 0.05$, **表示 $p< 0.01$, ***表示 $p < 0.001$。本研究后续所有图片中误差线和星号代表的意义与此图相同。

对错误率进行重复测量分析发现, 数量-空间一致性主效应不显著, $F(1, 47) = 0.11$, $p = 0.75$, $\eta^2 = 0.002$, 说明未出现数量 SNARC 效应。顺序-空间一致性主效应显著, $F(1, 47) = 4.58$, $p = 0.038$, $\eta^2 = 0.089$, 顺序-空间一致试次的错误率(0.016±0.003)显著低于顺序-空间不一致试次的错误率(0.034±0.008), 说明出现顺序 SNARC 效应。数量-空间一致性与顺序-空间一致性交互作用不显著, $F(1, 47) = 1.27$, $p = 0.27$, $\eta^2 = 0.026$, 说明在字母顺序分类任务中, 字母顺序和字母数量信息对字母分类加工的影响是相互独立的, 一定程度上支持数量 SNARC 效应和顺序 SNARC 效应彼此独立, 互不干扰的观点。当然由于错误率总体不高, 不排除交互作用阴性结果反映的是天花板效应的可能性, 结果见下图 3。

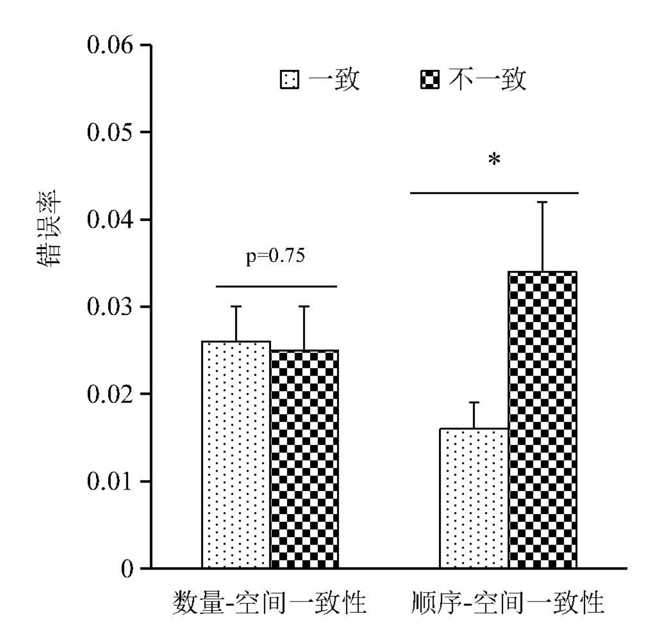


图 3 字母顺序分类中数量-空间和顺序-空间一致和不一致试次上的错误率及标准误

实验 1 在启动字母的数量信息后采用字母顺序分类任务，将被试的认知资源优先指向字母顺序线索后发现字母顺序分类中同时出现字母数量 SNARC 效应和字母顺序 SNARC 效应，且二者交互作用不显著。该结果意味着数量和顺序线索在 SNARC 效应中均发挥作用，而且当被试的认知资源直接指向顺序线索加工时，数量和顺序线索对 SNARC 效应的影响是独立的、互不干扰的。

3 实验 2

3.1 研究目的

采用启动范式启动字母数量信息，要求被试判断呈现字母在启动阶段呈现了奇数次还是偶数次。通过字母数量奇偶分类任务把被试的认知任务优先指向对字母数量线索的加工后考察字母数量和顺序线索对 SNARC 效应的影响及其作用机制。

3.2 研究方法

3.2.1 被试

实验 2 的被试量估算方法同实验 1，共招募 42 名(39 女，3 男)在校大学生和研究生参加，年龄为 20.67±1.71(*M*±*SD*)岁，范围 18～25 岁。所有被试视力或矫正视力均正常。实验完成后获取一定报酬以示答谢。

3.2.2 材料和仪器

材料和仪器与实验 1 相同。

3.2.3 实验设计

与实验 1 相同。

3.2.4 实验程序

与实验 1 基本相同，不同之处在于实验 2 要求被试忽略字母的顺序，判断字母在启动阶段呈现了奇数次还是偶数次。实验 2 同样设置 16 个空白试次。在空白试次中，注视点“+”消失后在显示器中央呈现“顺序”二字，并要求被试判断呈现的字母在字母表中位于 C 之前还是字母 C 之后。同样当被试对空白刺激错误反应超过空白试次总数的 25%后，被试的整个实验数据判为无效并剔除。

3.3 结果分析与讨论

为了确保在启动阶段被试均关注了字母的数量和顺序信息，我们同样采用实验 1 的方法，对实验 2 中空白刺激的错误数与概率水平做了配对样本 t 检验，结果显示被试在空白刺激上的实际错误数远远低于概率水平的错误数，$t(40) = -4.58$, $p < 0.001$, Cohen's $d = -6.26$，说明被试在启动阶段按要求充分地加工了字母的顺序，实验操作有效。

剔除每个处理水平上 3 个标准差以外的反应时数据和错误反应的反应时数据(占总数的 6.53%)，对剩余反应时数据进行重复测量方差分析发现：字母数量-空间一致性主效应不显著，$F(1, 41) = 0.92$, $p = 0.34$, $\eta^2 = 0.022$，说明未出现数量 SNARC 效应。顺序-空间一致性主效应不显著，$F(1, 41) = 2.33$, $p = 0.135$, $\eta^2=0.054$，说明未出现顺序 SNARC 效应。数量-空间一致性和顺序-空间一致性交互作用显著，$F(1, 41) = 4.26$, $p = 0.045$, $\eta^2 = 0.094$，说明数量 SNARC 效应和顺序 SNARC 效应相互影响。考虑到交互作用的显著影响，为了进一步考察数量 SNARC 效应和顺序 SNARC 效应，我们分别在顺序-空间一致和不一致条件下检验了数量 SNARC 效应。同样也分别在数量-空间一致和不一致条件下检验了顺序 SNARC 效应。

进一步分析发现，在顺序-空间一致条件下，数量-空间一致性简单主效应显著，$F(1, 41) = 4.74$, $p = 0.035$, $\eta^2 = 0.104$，数量-空间一致试次的反应(629±26.58 ms)显著快于数量-空间不一致试次的反应(651±28.37 ms)，说明实验 2 在顺序-空间一致条件下出现了数量 SNARC 效应。在顺序-空间不一致条件下，数量-空间一致性简单主效应不显著，$F(1, 41) = 0.14$, $p = 0.71$, $\eta^2 = 0.004$，说明实验 2 在顺序-空间不一致条件下未出现数量 SNARC 效应，见下图 4。

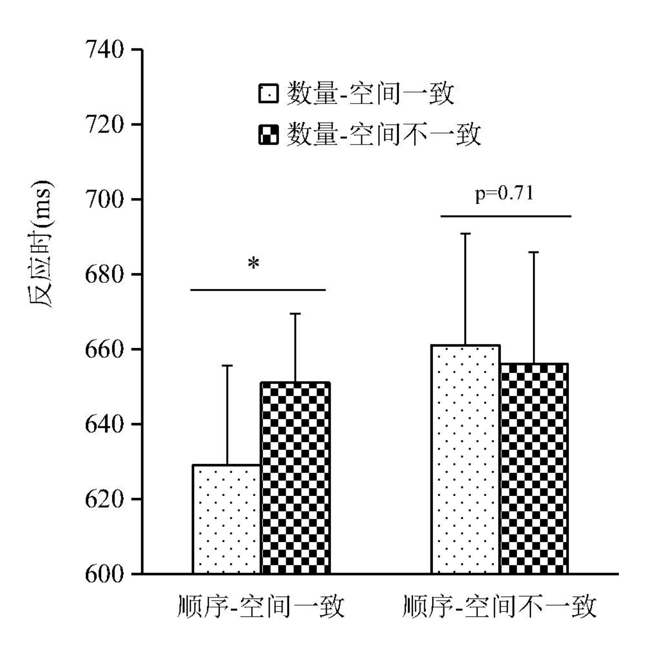


图 4 字母数量奇偶分类任务中顺序 SNARC 一致和不一致条件下数量 SNARC 效应

在数量-空间一致条件下，顺序-空间一致性简单主效应显著, $F(1, 41) = 4.45$, $p = 0.04$, $\eta^2 = 0.098$, 顺序-空间一致试次的反应(629±26.58 ms)显著快于顺序-空间不一致试次的反应(661±29.79 ms), 说明实验 2 在数量-空间一致条件下出现了顺序 SNARC 效应。在数量-空间不一致条件下，顺序-空间一致性简单主效应不显著, $F(1, 41) = 0.15$, $p = 0.70$, $\eta^2 = 0.004$, 说明实验 2 在数量-空间不一致条件下未出现顺序 SNARC 效应，见下图 5。

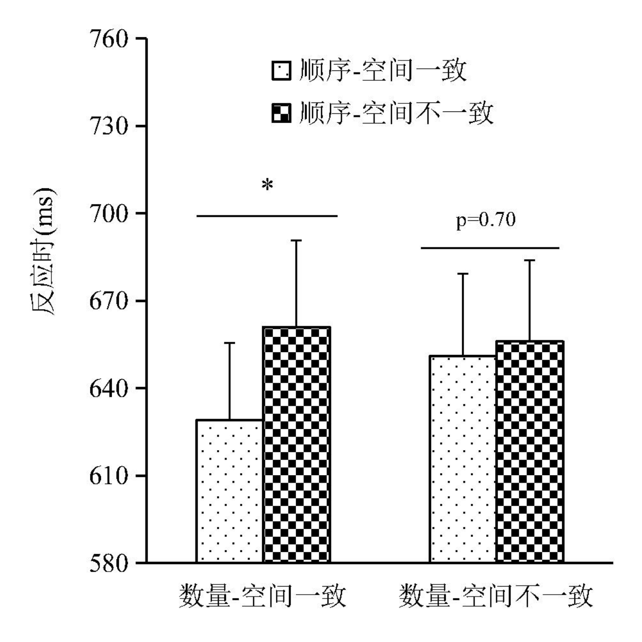


图 5 字母数量奇偶分类任务中数量 SNARC 一致和不一致条件下顺序 SNARC 效应

对错误率进行重复测量分析发现，数量-空间一致性主效应不显著, $F(1, 41) = 0.71$, $p = 0.41$, $\eta^2 = 0.017$, 说明未出现数量 SNARC 效应。顺序-空间一致性主效应不显著, $F(1, 41) = 0.004$, $p = 0.95$, $\eta^2 = 0.000$, 说明未出现顺序 SNARC 效应。数量-空间一致性与顺序-空间一致

性交互作用不显著, $F(1, 41) = 0.67, p = 0.42, \eta^2 = 0.016$, 说明在字母数量奇偶分类任务中, 字母顺序和字母数量信息对字母分类加工的影响是相互独立的。当然由于错误率总体不高, 不显著的交互作用也有可能反映的是天花板效应, 结果见下图 6。

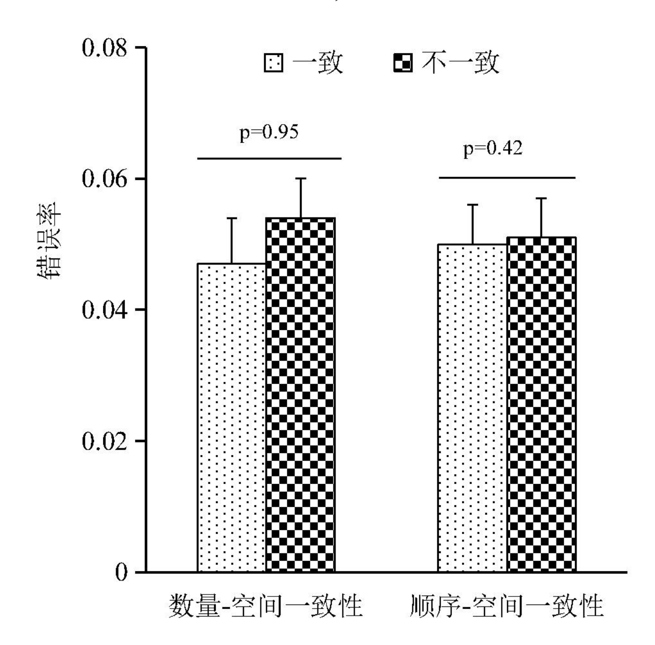


图 6 字母数量分类中数量-空间和顺序-空间一致和不一致试次上的错误率及标准误

实验 2 在启动字母的数量信息后采用启动字母的数量奇偶分类任务, 把被试认知资源直接指向对字母数量线索的加工后进一步考察了数量和顺序线索在 SNARC 效应中的作用及其关系。结果发现字母数量 SNARC 效应只出现在字母顺序-空间一致的条件下。类似地, 字母顺序 SNARC 效应也只出现在字母数量-空间一致的条件下。结果说明数量和顺序线索在 SNARC 效应中均发挥着作用, 而且当被试的认知资源直接指向数量线索加工时, 数量和顺序线索交互影响着 SNARC 效应。

4 实验 3

4.1 研究目的

采用启动范式启动字母数量信息, 要求被试判断呈现字母的颜色。通过字母颜色分类任务把被试的认知任务指向与字母数量和顺序线索均不直接相关的颜色信息加工后考察字母数量和顺序对 SNARC 效应的影响及其作用机制。

4.2 研究方法

4.2.1 被试

实验招募 46 名(39 女, 男 7)在校大学生和研究生参加, 年龄为 21.39±2.07(*M*±*SD*)岁, 范围 18～26 岁。所有被试视力或矫正视力正常, 无色盲或色弱患者。实验完成后获取一定报酬以示答谢。

4.2.2 材料和仪器

材料与实验 1 基本相同，不同之处在于实验 3 字母有黑色和绿色两种颜色。仪器与实验 1 相同。

4.2.3 实验设计

与实验 1 相同。

4.2.4 实验程序

与实验 1 基本相同，不同之处有两点：(1) 实验 3 反应阶段的字母用黑色或绿色呈现，并要求被试忽略字母的数量和字母在字母表中的顺序，判断字母的颜色。(2) 实验 3 空白刺激有字母数量分类和字母顺序分类两种类型任务，且每种任务反应时间设置为无限，这样做是为了最大限度地消除被试对反应标准记忆干扰实验结果。

4.3 结果分析与讨论

为了确保在启动阶段被试均关注了字母的数量和顺序信息，我们同样采用实验 1 的方法，对实验 3 中空白刺激的错误数与概率水平做了配对样本 t 检验，结果显示被试在空白刺激上的实际错误数远远低于概率水平的错误数，$t(44) = -4.72$, $p< 0.001$, Cohen's $d = -6.52$，说明被试在启动阶段按要求充分地加工了字母的数量和顺序信息，实验操作有效。

剔除每个处理水平上 3 个标准差以外的反应时数据和错误反应的反应时数据(占总数的 4.78%)，对剩余反应时数据进行重复测量方差分析发现：字母数量-空间一致性主效应不显著，$F(1, 45) = 0.49$, $p = 0.49$, $\eta^2 = 0.011$，说明未出现数量 SNARC 效应。顺序-空间一致性主效应显著，$F(1, 45) = 5.80$, $p = 0.02$, $\eta^2 = 0.114$，顺序-空间一致试次的反应(657±19.34 ms)显著快于顺序-空间不一致试次的反应(669±19.44 ms)，说明出现了顺序 SNARC 效应。数量-空间一致性和顺序-空间一致性交互作用不显著，$F(1, 45) = 0.83$, $p = 0.37$, $\eta^2 = 0.018$，说明在字母颜色分类任务中，字母顺序和字母数量信息对 SNARC 效应的影响是相互独立的，而且顺序线索对 SNARC 效应的影响大于数量线索，见下图 7。

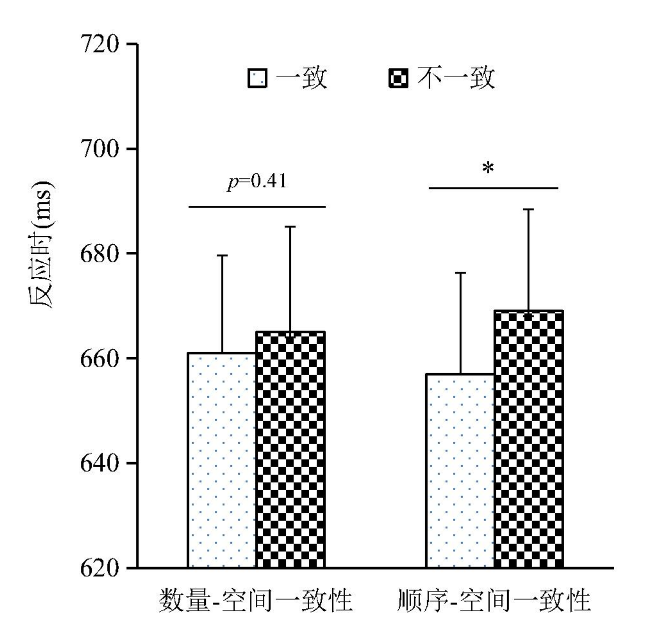


图 7 字母颜色分类中数量和顺序 SNARC 效应

对错误率进行重复测量分析发现，数量-空间一致性主效应不显著, $F(1, 45) = 2.50$, $p = 0.12$, $\eta^2 = 0.053$, 说明未出现数量 SNARC 效应。顺序-空间一致性主效应不显著, $F(1, 45) = 2.10$, $p = 0.15$, $\eta^2 = 0.045$, 说明未出现顺序 SNARC 效应。数量-空间一致性与顺序-空间一致性交互作用不显著, $F(1, 45) = 1.28$, $p = 0.26$, $\eta^2 = 0.028$, 说明在字母颜色分类任务中，字母顺序和字母数量信息对 SNARC 效应的影响是相互独立的，一定程度上支持数量 SNARC 效应和顺序 SNARC 效应彼此独立的观点。当然由于错误率总体不高，不显著的交互作用也有可能反映的是天花板效应，结果见下图 8。

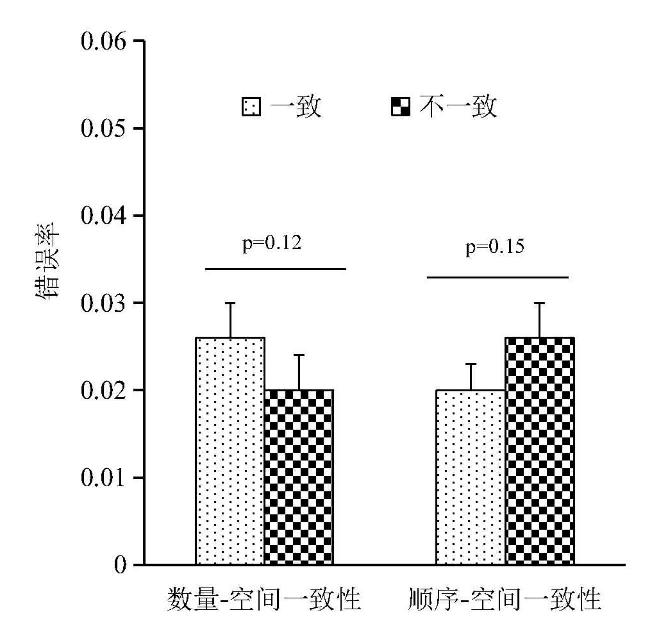


图 8 字母颜色分类中数量-空间和顺序-空间一致和不一致试次上的错误率及标准误

实验 3 在启动字母的数量信息后采用启动字母的颜色分类任务，把被试认知资源直接指

向与字母数量和顺序均不直接相关的字母颜色线索加工后进一步考察了数量和顺序线索对SNARC效应中的影响及其作用机制。结果发现只出现字母顺序SNARC效应，但未出现字母数量SNARC效应。而且字母顺序SNARC效应不受字母启动数量-空间一致性的影响。结果说明在字母颜色分类任务中，字母顺序线索在SNARC效应中发挥了明显的作用，数量线索在字母颜色分类任务中对SNARC效应未起到明显的作用。

5 讨论

尽管ATOM模型、顺序理论和数量顺序双重作用理论分别对SNARC效应的起因进行了解释，但是由于这些理论研究均不能解决刺激数量和顺序信息的共变性，导致上述理论在"SNARC效应由数量信息还是顺序信息的加工引起，抑或是数量和顺序信息共同作用的结果?"这一问题上存在争议。本研究采用启动范式启动字母的数量信息，解决刺激数量和顺序信息共变性问题之后考察了数量和顺序线索对SNARC效应的影响及其机制，对上述争议进行了研究。接下来将从以下几个方面对研究结果展开讨论。

5.1 ATOM模型、顺序理论和数量顺序双重作用理论的分离

ATOM模型把SNARC效应归结为刺激数量信息在一般数量系统中的加工(Bueti & Walsh, 2009; Casasanto & Pitt, 2019; Walsh, 2003)。顺序理论把SNARC效应归结为刺激顺序信息的加工(Abrahamse et al., 2014; Abrahamse et al., 2016; van Dijck & Fias, 2011)。数量顺序双重作用理论认为SNARC效应既可以由刺激的数量信息加工引起，也可以由刺激的顺序信息加工引起(Prpic et al., 2016; Prpic et al., 2021)。实验1在启动字母的数量信息后要求被试判断字母的顺序，把被试的注意资源直接指向字母顺序线索的加工。结果发现字母顺序判断中同时出现数量SNARC效应和顺序SNARC效应。实验2进一步采用字母数量奇偶分类任务，在直接激活字母数量信息的情景中对两种线索在SNARC效应中的作用进行了深入研究。结果发现当要求被试判断字母的启动数量时，数量SNARC效应和顺序SNARC效应之间交互作用显著。而且只有在顺序-空间一致试次中才会出现数量SNARC效应。只有在数量-空间一致试次中才会出现顺序SNARC效应。实验1和实验2在同一任务中均同时捕获到数量SNARC效应和顺序SNARC效应，说明数量和顺序线索在SNARC效应中均发挥重要作用。显然，实验1和实验2的结果均既不支持ATOM模型的预测，也不支持顺序理论的预测，更倾向于支持数量顺序双重作用理论。

实验3进一步要求被试判断目标刺激的颜色，在不直接激活数量和顺序线索的情景中进一步考察了数量和顺序线索对SNARC效应的影响及其机制。结果发现字母颜色分类中只出

现顺序 SNARC 效应，未出现数量 SNARC 效应。实验 3 未出现数量 SNARC 的原因有可能是数量和顺序线索同时出现时，被试优先加工了顺序线索，而数量线索未得到充分加工，致使实验 3 中只出现顺序 SNARC 效应，而数量 SNARC 效应及其对顺序 SNARC 效应的影响未得到充分展示。无论如何，通过比较三个实验之间的结果完全可以看出随着任务情景的变化，数量 SNARC 效应和顺序 SNARC 效应会表现出任务情景依赖性。数量 SNARC 效应和顺序 SNARC 效应交互作用在不同实验情境中的变化(实验 1 和实验 3 中两者交互作用不显著，实验 2 中两者交互作用显著)也能反映出数量 SNARC 效应和顺序 SNARC 效应的任务情景依赖性。数量 SNARC 效应和顺序 SNARC 效应及其之间关系的任务情景依赖性符合数量顺序双重作用理论对 SNARC 效应的预测。因此，基于本研究三个实验的结果可以说明 SNARC 效应既可以由刺激的数量信息引发，也可以由刺激的顺序信息引发。结果支持了数量顺序双重作用理论，分离了 ATOM 模型、顺序理论和数量顺序双重作用理论之间的争议。

5.2 数量和顺序信息在 SNARC 效应中的作用机制

虽然本研究的系列实验支持了数量顺序双重作用理论，但是数量顺序双重作用理论关于数量和顺序作用机制的预测与本研究的结果不符。数量顺序双重作用理论认为在直接任务(注意资源直接指向加工刺激的数量信息)中，刺激顺序信息会起作用并诱发顺序 SNARC 效应。在间接任务中(注意资源指向加工刺激数量信息无关的信息)，刺激数量信息会起作用并诱发数量 SNARC 效应。也就是说数量顺序双重理论否认同一任务中数量和顺序信息会同时起作用，并同时诱发数量 SNARC 效应和顺序 SNARC 效应。实验 1 字母顺序分类任务属于间接任务，实验 2 字母数量奇偶分类任务属于直接任务，实验 3 字母颜色分类任务属于间接任务。按照数量顺序双重作用理论推测，实验 1 和实验 3 应该只出现数量 SNARC 效应，实验 2 中应该只出现顺序 SNARC 效应。然而，实验 1 和实验 2 在字母顺序分类任务中均同时出现数量 SNARC 效应和顺序 SNARC 效应。实验 3 只出现顺序 SNAC 效应。三个实验结果均与数量顺序双重作用理论的预测不符。原因可能是数量顺序双重理论相关研究使用的刺激材料的数量和顺序信息之间具有共变性(Prpic et al., 2016; Prpic et al., 2021)。数量和顺序信息之间的共变性使得数量顺序双重作用理论难以有效分离数量和顺序线索在 SNARC 效应中的作用，无法在同一实验中区分开或同时观测到基于数量的 SNARC 效应和基于顺序的 SNARC 效应。相反，本研究采用启动范式启动字母的数量信息后，字母暂时会同时包含数量和顺序线索，而且数量和顺序线索之间不具共变性。这样一来，本研究恰好解决了数量和顺序之间的共变性问题，因而能够有效分离数量和顺序信息的作用，同时具备在同一任务情景中区分和同时观测到数量 SNARC 效应和顺序 SNARC 效应的条件。基于本研究的结果可

以看出, SNARC 效应既可以由刺激的数量信息所致, 也可以由刺激的顺序信息所致。而且即使在同一任务情景中, 数量和顺序信息加工均可以同时诱发数量 SNARC 效应和顺序 SNARC 效应。结果在支持数量顺序双重作用理论的同时也进一步修正了数量顺序双重作用理论关于数量和顺序线索作用机制的观点。基于本研究结果可以进一步推测：SNARC 效应由数量和顺序双重作用导致, 而且即使在同一任务情景中, 数量和顺序信息加工可以同时诱发数量 SNARC 效应和顺序 SNARC 效应, 但是数量和顺序信息的作用机制具有任务情景依赖性。本研究还发现, 当认知任务指向与顺序线索和数量线索均无关的任务时, 顺序线索的加工依然可以诱发 SNARC 效应, 但是数量线索的加工似乎不能或不足以诱发 SNARC 效应。这一结果意味着顺序线索和数量线索在 SNARC 效应中的作用是不对称的, 顺序线索似乎更易诱发 SNARC 效应。实验 1 错误率分析结果显示只出现顺序 SNARC 效应, 未出现数量 SNARC 效应。这一结果也支持了顺序线索似乎比数量线索更易诱发 SNARC 效应的观点。

此外, 加因素法假设如果两个因素的效应分别独立, 那么这两个因素各自作用于不同的加工阶段；如果两个因素的效应互相制约, 即一个因素的效应可以改变另一因素的效应, 那么这两个因素只作用于同一个加工阶段(Nan et al., 2022; Sternberg, 1969)。实验 1 和实验 3 发现数量和顺序 SNARC 效应的交互作用不显著。说明数量和顺序线索独立地、互不干扰地发挥着各自的作用并最终影响人类的行为反应。而且两种线索的加工发生在不同的加工阶段。但是当实验 2 把被试认知资源直接指向对字母数量线索的优先加工后, 数量 SNARC 效应和顺序 SNARC 效应交互作用显著。说明当认知资源优先指向数量线索时, 数量和顺序线索会相互制约, 而且人们对两种线索的加工可能发生在相同的加工阶段。这点与实验 1 和实验 3 有着实质性差别。对比三个实验的差异还可以推测, 当任务情景从间接任务转向直接任务后, 数量线索和顺序线索独立作用的机制停止运行, 取而代之的便是两种线索之间开始相互干扰, 并最终决定 SNARC 效应的表现。这一变化也意味着数量和顺序线索在 SNARC 效应中的作用机制具有任务情景依赖性。

5.3 数量、顺序与空间不一致对 SNARC 效应的削弱作用

实验 2 在分离 ATOM 模型、顺序理论和数量顺序双重作用理论时还发现, 在顺序-空间不一致试次中未出现数量 SNARC 效应, 在数量-空间不一致试次中未出现顺序 SNARC 效应。早期 SNARC 效应研究认为, 数量和顺序线索加工会自动诱发被试偏侧化反应(Dehaene et al., 1993; van Dijck & Fias, 2011)。这点在实验 1 中再次得到了验证。然而实验 2 在顺序-空间和数量-空间不一致条件下的结果未能支持早期的研究结果(Dehaene et al., 1993; van Dijck & Fias, 2011)。在顺序-空间和数量-空间不一致条件下, 顺序和数量线索加工自动诱发的优势反

应空间与任务要求的实际反应空间冲突(比如在数量-空间不一致条件下, 数量 1 会自动诱发左手更快的反应, 但是任务要求被试用右手按右键反应, 这时数量诱发的优势反应空间与任务要求的反应空间冲突)。自我控制资源模型认为, 冲突事件的加工比非冲突事件加工耗费更多的认知资源(窦凯 等, 2014; 黎建斌, 2013; 张国礼 等, 2017)。根据自我控制资源模型可以推测, 被试在顺序-空间和数量-空间不一致条件下比顺序-空间和数量-空间一致条件下完成相同的按键反应任务要耗费更多的认知资源。实验 2 在顺序-空间不一致条件下未出现数量 SNARC 效应, 在数量-空间不一致条件下未出现顺序 SNARC 效应, 这些结果还意味着认知资源的过多耗费可能会阻碍或削弱数量和顺序信息加工中的 SNARC 效应。

5.4 不足与展望

本研究在解决数量和顺序线索共变性问题后考察了数量和顺序线索对 SNARC 效应的影响及其作用机制, 研究结果支持和修正了数量顺序双重作用理论。然而本研究以启动字母数量的方式创造了数量和顺序信息共存但不共变的刺激, 考察了数量和顺序线索在 SNARC 效应中的作用及其机制。研究结论是否可以推广到其他类型的顺序或数量刺激, 还有待于进一步探索。此外, 本研究采用行为实验, 研究结论是基于反应时数据的逻辑推理, 难以直观地观测上述情景中人脑加工数量和顺序信息的特点。后续研究可以采用脑电和脑成像等技术观测上述情景中数量和顺序线索加工在时间和空间上的特点, 深入地揭示数量和顺序信息在 SNARC 效应中的作用机制。

6 结论

本研究采用启动范式启动字母的数量信息, 在解决长期以来存在的数量和顺序共变性问题后系统考察了数量和顺序线索对 SNARC 效应中的影响及其作用机制。通过本研究可以得出以下结论：(1) SNARC 效应即可以由刺激的数量线索引起, 也可以由刺激的顺序线索引起。(2)数量和顺序线索对 SNARC 效应的影响机制不同, 且随着任务情景的变化, 数量和顺序在 SNARC 效应中的作用机制也会随之变化, 具有一定的任务情景依赖性。结果支持和修正了数量顺序双重作用理论。

参考文献

Abrahamse, E., van Dijck, J. P., Majerus, S., & Fias, W. (2014). Finding the answer in space: The mental whiteboard hypothesis on serial order in working memory. *Frontiers in Human Neuroscience, 8,* 932. doi: 10.3389/fnhum.2014.00932.

Abrahamse, E., van Dijck, J. P., & Fias, W. (2016). How does working memory enable number-induced spatial

biases? *Frontiers in Psychology, 7,* 977. Doi: 10.3389/fpsyg.2016.00977.

Bueti, D., & Walsh, V. (2009). The parietal cortex and the representation of time, space, number and other magnitudes. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 364*(1525), 1831–1840.

Casasanto, D., & Pitt, B. (2019). The faulty magnitude detector: why SNARC-like tasks cannot support a generalized magnitude system. *Cognitive Science, 43,* e12794. doi: 10.1111/cogs.12794.

Cleland, A. A., Corsico, K., White, K., & Bull, R. (2020). Non-symbolic numerosities do not automatically activate spatial–numerical associations: Evidence from the SNARC effect. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 73*(2), 295–308.

Dehaene, S., Bossini, S., & Giraux, P. (1993). The mental representation of parity and number magnitude. *Journal of Experimental Psychology: General, 122*(3), 371–396.

Dodd, M. D., Van der Stigchel, S., Leghari, M. A., Fung, G., & Kingstone, A. (2008). Attentional SNARC: There's something special about numbers (let us count the ways). *Cognition, 108,* 810–818.

Dou, K., Nie, Y., Wang, Y., Li, J., & Shen, W. (2014). Ego depletion promotes impulsive decision: Evidences from behavioral and ERPs studies. *Acta Psychologica Sinica, 46*(10), 1564–1579.

[窦凯, 聂衍刚, 王玉洁, 黎建斌, 沈汪兵. (2014). 自我损耗促进冲动决策: 来自行为和 ERPs 的证据. *心理学报, 46*(10), 1564–1579.]

Fumarola, A., Prpic, V., Pos, O. D., Murgia, M., Umiltà, C., & Agostini, T. (2014). Automatic spatial association for luminance. *Attention Perception & Psychophysics, 76*(3), 759–765.

Gao, Z., Shu, R., Chen, J., Chen, W., Tian, Y., & Shen, M. (2009). The mechanism of negative numbers' spatial representation. *Acta Psychologica Sinica, 41*(2), 95–102.

[高在峰, 水仁德, 陈晶, 陈雯, 田瑛, 沈模卫. (2009). 负数的空间表征机制. *心理学报, 41*(2), 95–102.]

Gevers, W., Reynvoet, B., & Fias, W. (2003). The mental representation of ordinal sequences is spatially organized. *Cognition, 87*(3), B87–B95.

Gevers, W., Reynvoet, B., & Fias, W. (2004). The mental representation of ordinal sequences is spatially organized: Evidence from days of the week. *Cortex, 40*(1), 171–172.

Ginsburg, V., & Gevers, W. (2015). Spatial coding of ordinal information in short-and long-term memory. *Frontiers in Human Neuroscience, 9,* 8. doi: 10.3389/fnhum.2015.00008

Han, M., Mao, X., Cai, M., Jia, X., & Guo, C. (2017). The effect of positive and negative signs on the SNARC effect in the magnitude judgment task. *Acta Psychologica Sinica, 49*(8), 995–1008.

[韩萌, 毛新瑞, 蔡梦彤, 贾茜, 郭春彦. (2017). 大小判断任务中正负号及其异同对 SNARC 效应的影响. *心*

理学报, 49(8), 995–1008.]

Hu, L., & Xiong, Z. (2013). Unconscious spacial representation of physical size and cover area. *Journal of Psychological Science, 36*(6), 1369–1374.

[胡林成, 熊哲宏. (2013). 物理大小和面积的无意识空间表. *心理科学, 36*(6), 1369–1374.]

Huber, S., Klein, E., Moeller, K., & Willmes, K. (2016). Spatial–numerical and ordinal positional associations coexist in parallel. *Frontiers in Psychology, 7,* 438. doi: 10.3389/fpsyg.2016.00438

Kong, F., Zhao, J., & You, X. (2012). Components representation of negative numbers: Evidence from auditory stimuli detection and number classification tasks. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 65*(4), 691–701.

Li, J. (2013). The mechanism of why self-control resources and cognitive resources influence each other: An integrated model. *Advances in Psychological Science, 21*(2), 235–242.

[黎建斌. (2013). 自我控制资源与认知资源相互影响的机制: 整合模型. *心理科学进展, 21*(2), 235–242.]

Liu, C., Mai, X., & Fu, X. (2004). Spatial numerical association of response codes effect of number processing in different attention conditions. *Acta Psychologica Sinica, 36*(6), 671–680.

[刘超, 买晓琴, 傅小兰. (2004). 不同注意条件下的空间-数字反应编码联合效应. *心理学报, 36*(6), 671–680.]

Nan, W., Yan, L., Yang, G., Liu, X., & Fu, S. (2022). Two processing stages of the SNARC effect. *Psychological Research, 86*(2), 375–385.

Nuerk, H. C., Wood, G., & Willmes, K. (2005). The universal SNARC effect. *Experimental Psychology, 52*(3), 187–194.

Pan, Y., Shen, D., & Wang, J. (2009). The spatial numerical association of response codes effect of Chinese character number processing in different attention referential cues. *Studies of Psychology and Behavior, 7*(1), 21–26.

[潘运, 沈德立, 王杰. (2009). 不同注意提示线索条件下汉字数字加工的 SNARC 效应. *心理与行为研究, 7*(1), 21–26.]

Previtali, P., de Hevia, M. D., & Girelli, L. (2010). Placing order in space: The SNARC effect in serial learning. *Experimental Brain Research, 201*(3), 599–605.

Prpic, V., Basamh, Y. A., Goodridge, C. M., Agostini, T., & Murgia, M. (2023). Contrasting symbolic and non-symbolic numerical representations in a joint classification task. *Psychonomic Bulletin & Review, 30*(4), 1422–1430.

Prpic, V., Fumarola, A., De Tommaso, M., Luccio, R., Murgia, M., & Agostini, T. (2016). Separate mechanisms for

magnitude and order processing in the spatial-numerical association of response codes (SNARC) effect: The strange case of musical note values. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 42(*8), 1241–1251.

Prpic, V., Mingolo, S., Agostini, T., & Murgia, M. (2021). Magnitude and order are both relevant in SNARC and SNARC - like effects: A commentary on Casasanto and Pitt (2019). *Cognitive Science, 45*(7), e13006. doi: 10.1111/cogs.13006

Richter, M., & Wühr, P. (2023). Spatial-numerical associations of manual response codes are strongly asymmetrical. *Cognition, 238,* 105538. doi: 10.1016/j.cognition.2023.105538.

Schliephake, A., Bahnmueller, J., Willmes, K., Koch, I., &Moeller, K. (2023). Influences of cognitive control on number processing: New evidence from switching between two numerical tasks. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 76*(11), 2613–2628.

Shen, J., He, H., Wu, B., & Zhou, J. (2023). Influence of different spatial representations on the SNARC effect for letters: Electrophysiological evidence. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 76*(11), 2514–2523.

Shi, W., Wang, Q., Zhao, F., & Zhao, X. (2020). The spatial coding mechanism of ordinal symbols: A study based on the ordinal position effect. *Attention, Perception, & Psychophysics, 82*(3), 1051–1062.

Si, J., Zhou, C., Zhang, C., & Zhong, L. (2013). SNARC Effect of Non-Symbolic Number Information on Different Processing Levels: Eye tracking Evidence. *Acta Psychologica Sinica, 45*(1), 11–22.

[司继伟, 周超, 张传花, 仲蕾蕾. (2013). 不同加工深度非符号数量信息的SNARC效应:眼动证据. *心理学报, 45*(1), 11–22.]

Sternberg, S. (1969). The discovery of processing stages: extensions of donders' method. *Acta Psychologica, 30,* 276–315.

van Dijck, J. P., & Fias, W. (2011). A working memory account for spatial-numerical associations. *Cognition, 119*(1), 114–119.

Walsh, V. (2003). A theory of magnitude: Common cortical metrics of time, space and quantity. *Trends in Cognitive Sciences, 7*(11), 483–488.

Wang, Q., An, B., Yue, H., Tao, W., & Shi, W. (2021). Interaction mechanism between location and sequence in letter cognition. *Acta Psychologica, 217,* 103329. doi: 10.1016/j.actpsy.2021.103329

Wang, Q., Chen, Y., Liu, S., Zhang, W., Ma, Y., & Wu, Y. (2023). The SNARC effect for nonsymbolic numbers is not observed when stimuli spatially orient attention. *Advances in Cognitive Psychology, 19*(3), 261–272.

Wang, Q., Liu, M., Shi, W., & Kang, J. (2018). Mechanism of the SNARC effect in numerical magnitude, time

sequence, and spatial sequence tasks: Involvement of LTM and WM. *Frontiers in Psychology, 9,* 1558. doi: 10.3389/fpsyg.2018.01558.

Wang. Q., Liu, S., Zhang, P., Wang, N., & Jin, G. (2022). Rotation angle and task demands influence encoding of ordinal stimuli in the ordinal stimuli's location activated context. *Advances in Cognitive Psychology, 18*(3), 215–225.

Wang, Q., Nie, T., Zhang, W., & Shi, W. (2019). The mechanism of the ordinal position effect: stability across sense modalities and the hands crossed context. *I-perception, 10*(2), 1–16. doi: 10.1177/2041669519841071.

Wang, Q., Wu, Y., Zhang, F., Tao, W., & Wang, C. (2022). Processing directional information in stimuli inhibits the spatial association of luminance levels. *Attention, Perception, & Psychophysics, 84*(8), 2596–2606.

Wang, Q., Zhang, Q., Shi, W., Wang, Z., & Zhang, P. (2022). Online construction of spatial representation of numbers: Evidence from the SNARC effect in number processing in interferential situations. *Acta Psychologica Sinica, 54*(7), 761–771.

[王强强, 张琦, 石文典, 王志伟, 章鹏程. (2022). 数字空间表征的在线建构：来自干扰情景中数字 SNARC 效应的证据. *心理学报, 54*(7), 761–771.]

Wang, Z., Zhu, X., & Jiang, Y. (2020). Influence of number location on the SNARC effect: Evidence from the processing of rotated traditional Chinese numerical words. *I-Perception, 11*(2), 1-18. doi: 10.1177/2041669520917169.

Zhang, G., Cao, M., & Qiu, Y. (2017). Review of self-control induced ego depletion. *Psychology: Techniques and Applications, 5*(6), 353–358.

[张国礼, 曹美, 仇悦. (2017). 自我控制引起自我损耗研究述评. *心理技术与应用, 5*(6), 353–358.]

Zhang, M., Gao, X., Li, B., Yu, S., Gong, T., Jiang, T., Hu, Q., Chen, Y. (2016). Spatial representation of ordinal information. *Frontiers in Psychology, 7,* 505. doi: 10.3389/fpsyg.2016.00505.

How Magnitude and Ordinal Cues of Stimuli Influence the SNARC Effect

WANG Qiangqiang[1], WU Yanwen[2], SHI Wendian[3], YOU Xuqun[4]

([1] School of Teacher Education, Huzhou University, Huzhou 313000) ([2] School of Teacher Education, Tianshui Normal University, Tianshui 741001) ([3] School of psychology, Shanghai Normal University, Shanghai, 200030) ([4] School of psychology, Shaanxi Normal University, Xi’an, 710000)

Abstract

Dehaene et al. (1993) found that participants typically associated small numbers with pressing the left key and large numbers with pressing the right key when they classified the given numbers by pressing the left or right key as correctly and quickly as possible. They defined this phenomenon as the spatial-numerical association of the response code (SNARC) effect. After Dehaene and his collaborators captured the SNARC effect in Arabic numerals processing, subsequent studies further confirmed the existence of the SNARC effect in other types of symbolic numbers and non-symbolic numbers and the stimuli with magnitude information. On the cause of the SNARC effect, various theories provide explanations. For example, the ATOM (a theory of magnitude) model suggests that in the human brain, there is a generalized magnitude system where various symbolic and non-symbolic numbers and stimuli with magnitude information are processed to result in the SNARC effect. Ordinality theory holds that the processing of ordinality information from stimuli including numbers leads to the SNARC effect. Magnitude-ordinality double action theory states that both the magnitude and ordinality of stimuli contribute to the SNARC effect. These theories have deepened our understanding of the mechanism of the SNARC effect, but contradictions exist among these theories on the following basic theoretical questions. First, is it the magnitude of the numbers or the ordinal cues of the numbers that causes the SNARC effect in the processing of numbers? Second, how do the magnitude and ordinal cues of the numbers influence the SNARC effect? A critical reason why the above two theoretical questions could not be solved is that the magnitude and ordinal cues of the experimental stimuli are not well separated in the previous studies.

Therefore, this study used a new stimulus in which the magnitude and ordinal cues were both contained and could be well separated, aiming to systematically investigate the magnitude and ordinal cues of the numbers that led to the SNARC effect and how the magnitude and ordinal cues of the numbers influenced the SNARC effect in different tasks.

In the first experiment, we presented participants with a specific letter (A, B, D, or E) successively and intensively, and asked them to remember the letter and the number of times occurring in the activating stage. Then, we presented the activated letter again to participants and asked them to classify the activated letter in the order of the alphabet by pressing the left key with the left hand or the right key with the right hand. The results of this experiment showed that the SNARC effect was the result of both magnitude and ordinal cues. In addition, the effects of

SNARC on the processing of both magnitude and ordinal cues did not interact with each other. In the second experiment, participants were asked to classify the activated letters according to their magnitude. The results indicated that the SNARC effect in the processing of magnitude and the SNARC effect in the processing of ordinal cues interacted with each other. Besides, the SNARC effect occurred only when the magnitude or ordinal direction was consistent with the response side. In the third experiment, we activated the magnitude of letters by successively presenting a specific letter several times, followed by presenting the activated letter in blue or green to the participants. Unlike the first two experiments, in the third experiment, we asked participants to classify the letters based on their color by pressing the left or right key. The results indicated that the SNARC effect only occurred in the processing of ordinal cues, and was not affected by numerical-spatial consistency.

This study highlighted that (1) both magnitude and ordinality information can induce the SNARC effect; (2) the influence mechanism of magnitude information on the SNARC effect was different from that of ordinality information, and both of them depended on the task completed by participants. With the change of tasks, the mechanisms of magnitude and ordinal cues in the SNARC effect also changed, indicating their task dependence. These results support and improve the magnitude ordinality dual action theory.

Keywords SNARC effect, priming paradigm, numerical-spatial consistency, ordinal-spatial consistency, cognitive task